

УДК517.987; 621.38.049.77

Е.Т. Қожағұлов\*, М.К. Ибраимов, С.А. Хохлов, Е. Сағидолда, Д.М. Жексебай

Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Казахстан, г. Алматы  
\*e-mail: kazgu.kz@gmail.com

### Генераторы динамического хаоса на программируемых логических интегральных схемах

К хаотизации движений в детерминированных нелинейных системах проявляется большой интерес, о чем свидетельствует нарастающий поток научной информации. Это связано со множеством прикладных решений с применением различных генераторов хаотических сигналов, таких, как расширение полосы спектра сигнала, конфиденциальная передача информационного сигнала и др. Для реализации таких задач мы выбрали программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС), что повышает быстродействие генераторов за счет параллельной обработки данных. В работе приведены результаты использования нового метода реализации хаотических генераторов на основе дифференциальных уравнений и отображении динамических систем. Цифровая схемотехника выполнена с помощью интегральных схем типа FieldProgrammableGateArray. Показана возможность применения предлагаемого комплекса цифровой электронной техники для получения сверхширокополосных, сверхвысокочастотных, хаотических сигналов с разнообразными статистическими свойствами.

**Ключевые слова:** хаотический генератор, динамические системы, FPGA, информационные технологии, цифровые схемы.

Е.Т. Қожағұлов, М.К. Ибраимов, С.А. Хохлов, Е. Сағидолда, Д.М. Жексебай  
**Интегралды кестелермен бағдарланатын динамикалық хаос генераторлары**

Күннен-күнге көбейіп жатқан ғылыми ақпараттар ағынына үңілсек, детерминделген бейсызық жүйелердегі құбылыстың хаостануы үлкен қызығушылық тудыруда. Бұл әртүрлі хаосты сигналды генераторларды қолдана отырып, сигнал спектрінің кең жолақты болуы, ақпаратты сигналды конфиденциалды қабылдап жіберу сынды т.б. көптеген қолданбалы шешімдерге байланысты. Осы мәселелерді шешу үшін мәліметтерді параллелді өңдеу арқылы генератор жылдамдығын арттыра алатын бағдарланатын логикалық интегралды кестелерді (ПЛИС) таңдап алдық. Бұл жұмыста дифференциалды теңдеулер және динамикалық жүйелер бейнелеуі негізінде хаостық генераторларды жүзеге асырудың жаңа әдістерін қолдану нәтижелері келтірілген. Сандық схемотехника Field Programmable Gate Array типіндегі интегралды схемалар көмегімен жасалды. Әртүрлі статистикалық қасиеттері бар аса кең жолақты, аса жоғарғы жиілікті, хаосты сигналдарды алу негізінде ұсынылған сандық электронды техникалық комплексінің қолдану мүмкіндіктері көрсетілген.

**Түйін сөздер:** хаосты генератор, динамикалық жүйелер, FPGA, ақпараттық технологиялар, сандық схемалар.

Ye.T. Kozhagulov, M.K. Ibraimov, S.A. Khokhlov, Ye. Sagidolda, D.M. Zheksebay  
**Generators of dynamical chaos based on FPGA**

Chaotization of motions in deterministic nonlinear systems are of great interest, as evidenced by the rising tide of scientific information. This is due to variety of application solutions using various generators of chaotic signals, such

as the expansion of the spectral band signal, reception and transmission of confidential information signal, etc. To implement these objectives, we chose Programmable Logic Array (FPGA), which improves the performance of generators due to parallel data procession. This paper shows the results of using the new method implementation of chaotic generators based on differential equations and dynamical systems mapping. Digital circuitry is made by means of integral schemes of Field Programmable Gate Array. Also shown the possibility of using the proposed complex digital electronic technology to obtain ultra-wideband, microwave, chaotic signals with different statistical properties.

**Key words:** chaoticgenerator, dynamical system, FPGA, information technology, digital circuits.

### Введение

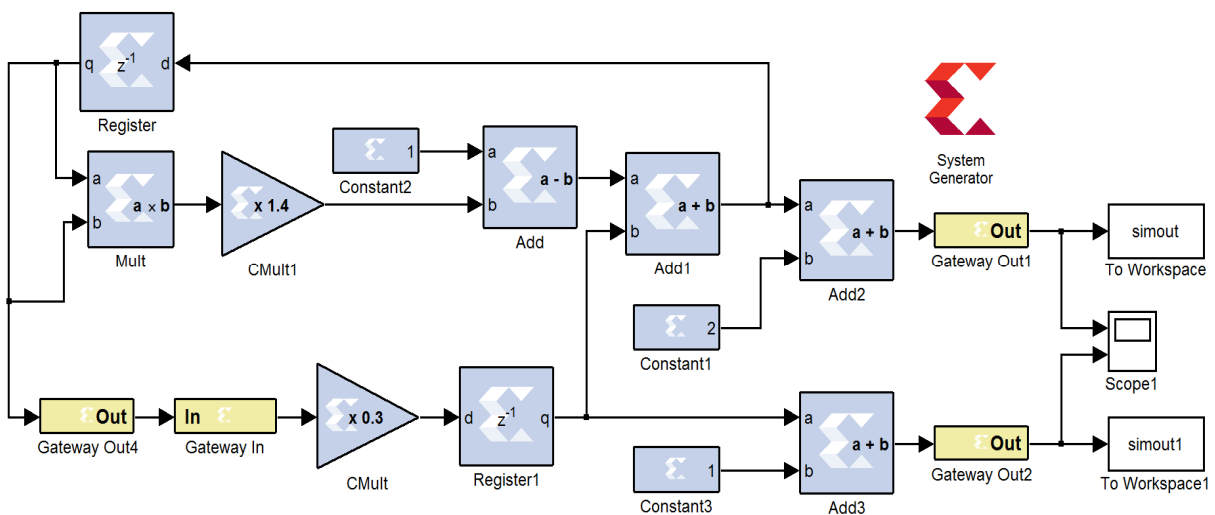
Программируемые устройства представляют собой класс микросхем общего назначения, которые могут быть сконфигурованы для самых разнообразных применений. Встает естественный вопрос об отличии и преимущества использования ПЛИС относительно аналоговой схемотехники. В случае аналоговых хаотических генераторов есть проблема синхронизации приемника с передатчиком. Это требует согласования параметров как приемника, так и передатчика с высокой степенью точности. Данное требование трудно достичь в аналоговых системах, так как компоненты аналогового контура являются функциями времени и температуры. Поэтому очевидной возможностью является использование цифровых приборов с целью поиска методов моде-

лирования сложных динамических систем, описываемых, например, дробными показателями степени [1].

### Результаты численного анализа и сопоставление с физическими экспериментами

В качестве объектов исследований мы выбрали известные динамические системы, описываемые нелинейными дифференциальными уравнениями, или отображениями. Для получения численных и графических данных использовался программный пакет MATLABSimulink. Для примера ниже приведена структурная схема на цифровых логических элементах отображения Хенона:

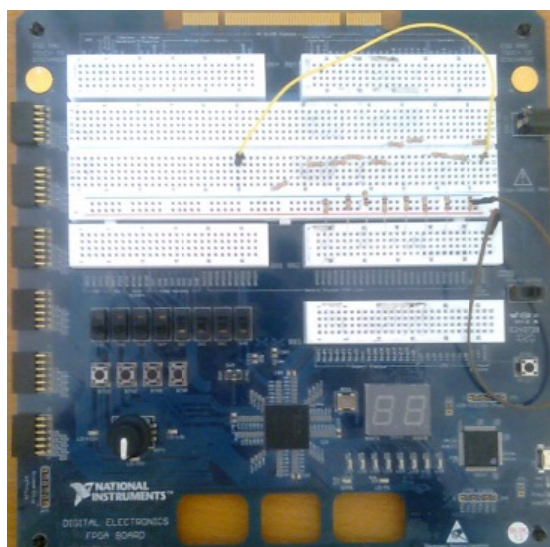
$$x_{i+1} = y_i + 1 - ax_i^2, y_{i+1} = bx_i. \quad (1)$$



**Рисунок 1** – Структурная схема отображения Хенона с параметрами  $a=1.4$ ,  $b=0.3$

Аппаратная часть реализована на основе отладочной платы DEFPGABOARDc интегральной схемой фирмы XILINX семейства Spartan 3E (рис. 2). Цифровой сигнал на выходе

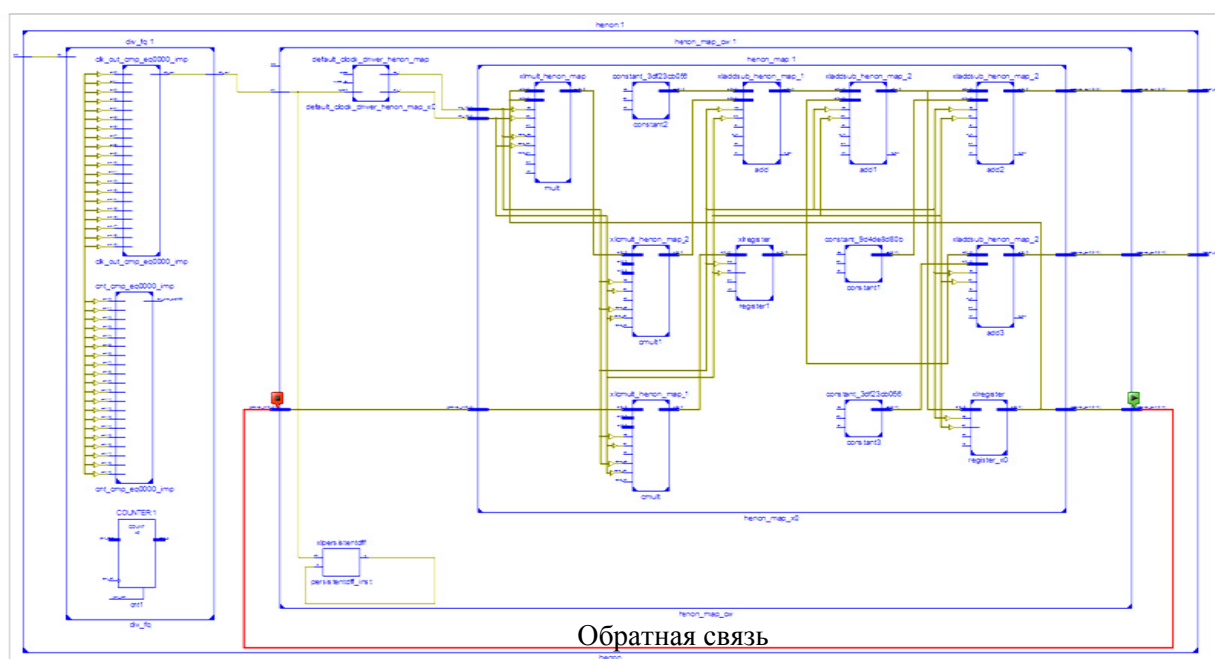
ПЛИС получен в виде восьмибитного кода данных. На макетной плате собрана схема ЦАП для отображения аналоговых данных на осциллографе.



**Рисунок 2** – Отладочная плата DEFGABOARD

Подробная блок схема записанного программного кода в ПЛИС приведена на рисунке 3. Каждый блок выполняет определенные функции

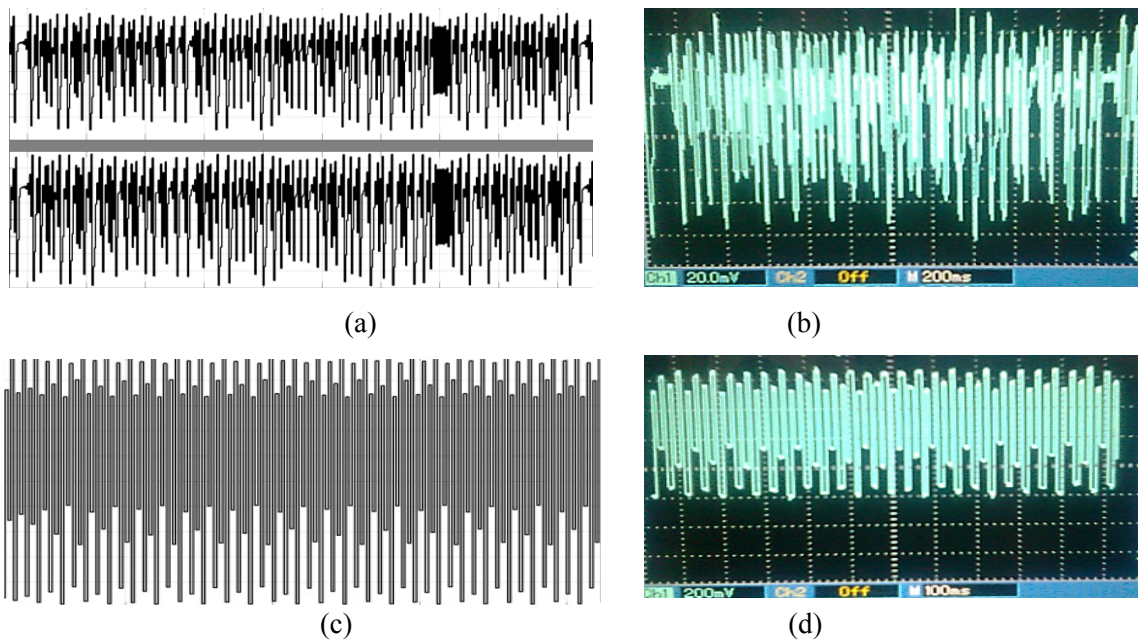
созданного алгоритма: первый блок выполняет деление частоты такта, второй обобщенный блок выдает сигнал по отображению Хенона.



**Рисунок 3** – RTL схема отображения Хенона в ПЛИС

Также на программном языке Verilog HDL осуществили обратную связь (рис. 3). Эта линия соответствует линии между Gateway Out 4 и Gateway In в структурной схеме отображения Хенона на рисунке 1.

Экспериментальные результаты на основе ПЛИС и данные полученные численным методом отображения Хенона, логистического отображения, систем Росслера, Чуа и Лоренца [2-5] сопоставлены ниже.



**Рисунок 4** – Численные реализации (а, с) и экспериментальные результаты (b, d) отображения Хенона (а, b); логистического отображения (с, d)

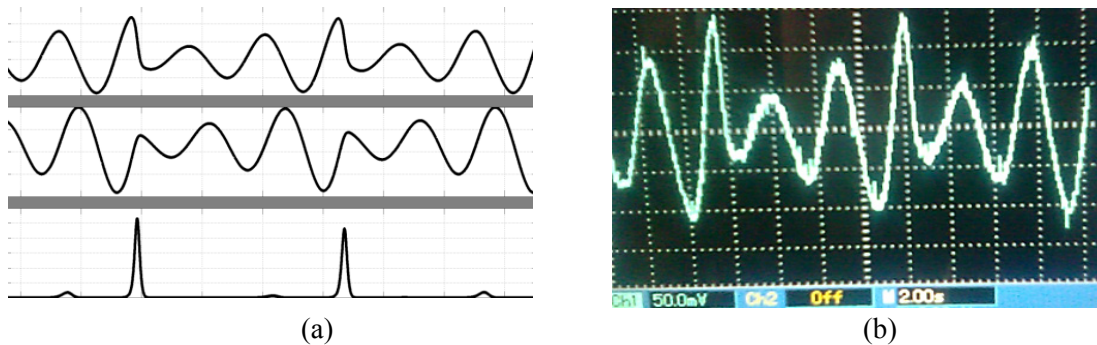
#### Динамические системы

Система Росслера:

$$\dot{x} = -(y + z),$$

$$\dot{y} = x + ay,$$

$$\dot{z} = \beta + z(x - \gamma).$$



**Рисунок 5** – Численные реализации (а) и экспериментальные результаты (b) системы Росслера, при  $\alpha = 0.2$ ,  $\beta = 0.2$ ,  $\gamma = 5.7$

Система Чуа:

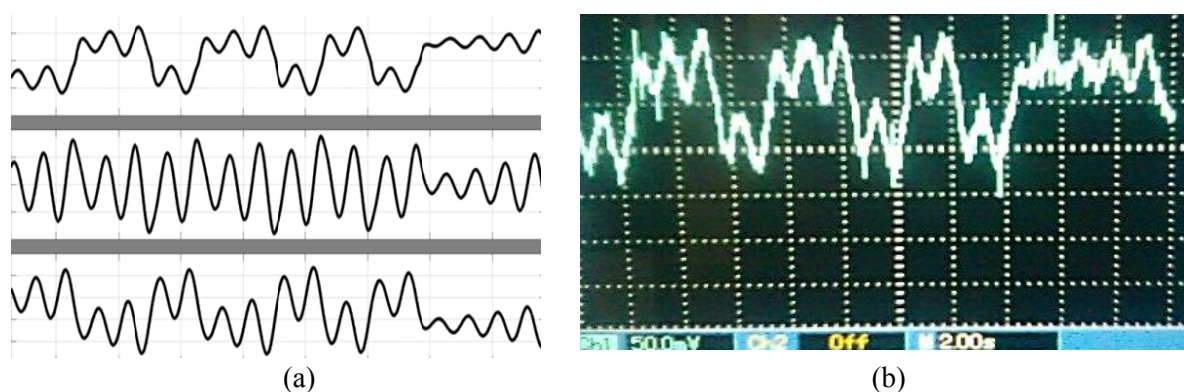
$$\dot{x} = ka(y - x - g(x)),$$

$$\dot{y} = k(x - y + z),$$

$$\dot{z} = k(-\beta y - \gamma z),$$

$$g(x) = m_0 x + 0.5(m_1 - m_0)(|x + 1| - |x - 1|).$$





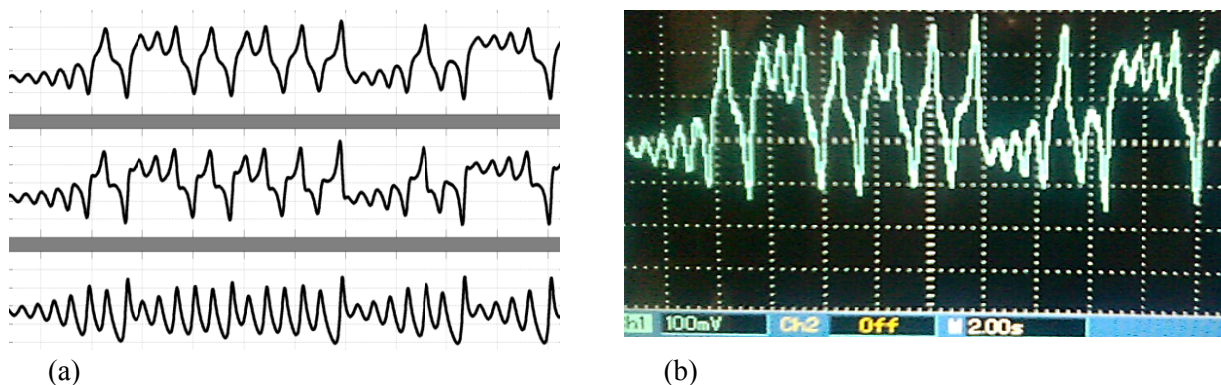
**Рисунок 6** – Численные реализации (a) и экспериментальные результаты (b) системы Чуа, При  $\alpha = 6.579$ ,  $k = 1$ ,  $\beta = 10.897$ ,  $m_0 = -0.652$ ,  $m_1 = -1.812$ ,  $\gamma = -0.045$

Система Лоренца:

$$\dot{x} = a(y - x),$$

$$\dot{y} = bx - y - xz,$$

$$\dot{z} = xy - cz, \text{ где } a = 10, b = 28, c = 8/3.$$



**Рисунок 7** – Численные реализации (a) и экспериментальные результаты (b) системы Лоренца

### Заключение

Численные моделирования вышеприведенных систем генераторов хаоса получены экспериментальными методами на основе интегральных схем FPGA в реальном времени. Этот метод является простым способом реализации сложных схемотехнических задач.

Точность и частоту реализации сигналов можно повысить за счет параллельных вычислительных методов, также от внешнего ЦАП. Эти результаты могут быть полезными в исследованиях информационных беспроводных систем передачи и приема данных и для повышения их эффективности.

### References

- 1 Zhanabaev Z.Zh. Fractal measures in nanoelectronics and neurodynamics // Eurasian Physical Technical Journal. – 2012. – Vol. 9. – №1(17). – P.3-13.
- 2 Aseeri M.A. and Sobhy M.I. Design Chaotic Generator at High Frequencies // Greener Journal of Science, Engineering and Technology Research. – 2012. – Vol. 3 (7). – P. 205-209.
- 3 Eroglu C., Savaci F.A. Control system for synchronization of generalized Chua's circuits in FPGA // PHYSCON 2009, Catania, Italy, September, 1–September, 4.– 2009.
- 4 Sobhy M.I., Aseeri M.A. and Shehata A. Real time implementation of chaotic models using digital hardware // AMREM 2002, HPEM 13, June 2002.
- 5 Pivka L., Wu C.W. and Huang A. Lorenz equation and Chua's equation // Int. J. of Bifurcation and Chaos, 1996. – Vol. 6. – No. 12B. – P.2443-2489.